Über die Beziehungen zwischen physikalischen Eigenschaften und dem Zündverhalten von Kraftstoffen im Motor

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer Hohen naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Karl Schilling

aus Suhl

DRUCK VON PAUL DÜNNHAUPT / KÖTHEN (ANHALT)

1936

Referent: Prof. Dr. Tubandt

Korreferent: Prof. Dr. Hoffmann

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Tag der mündlichen Prüfung 19. II. 1936

Inhaltsübersicht.

Seite

A. Bestimmung der Klopffestigkeit von Benzinen und der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen auf dem Prüfstand 3

B. Bestimmung der Klopffestigkeit von Benzinen und der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen im Zündwertsprüfer nach Jentzsch 4

a) Beschreibung der Apparatur 4

b) Definition der Zündwerte und Durchführung der Messungen 5

c) Beziehungen der Zündwerte zu der Oktanzahl von Leichtkraftstoffen . . 7

d) Beziehungen der Zündwerte zu der Cetenzahl von Dieselkraftstoffen . . 12

C. Bestimmung der Klopffestigkeit von Vergaserkraftstoffen und Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen mit Hilfe physikalischer Konstanten nach Heinze-Marder 13

a) Beschreibung der Meßmethode 13

b) Beziehungen des Parachors zur Klopffestigkeit von Benzinen 14

c) Beziehungen des Parachors zur Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen . . 16

D. Beziehungen der Zündwerte (Selbstzündungspunkt und Kennzündwert) zu den physikalischen Konstanten (Parachor und Dichte) 16

Zusammenfassung 23

Schrifttum 24

A. Bestimmung der Klopffestigkeit von Benzinen und der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen auf dem Prüfstand.

Die Prüfung der motorischen Eignung von Kraftstoffen hinsichtlich ihres Zündverhaltens geschah bisher ausschließlich auf dem Prüfstand. Man vergleicht das motorische Verhalten der zu untersuchenden Kraftstoffe mit dem von Gemischen aus bekannten Eichstoffen.

Für Vergaserkraftstoffe benutzt man Gemische aus den Eichstoffen Iso-Oktan und Normal-Heptan. Als Maßstab für die Bewertung der Benzine gilt die Oktanzahl; sie gibt den Gehalt an Volumen-Prozent Iso-Oktan derjenigen Mischung aus Iso-Oktan und Normal-Heptan an, die denselben Klopfwert wie der zu untersuchende Kraftstoff besitzt.

Für die motorische Eignung von Dieselkraftstoffen ist in erster Linie ihre Zündwilligkeit maßgebend. Der Kraftstoff zündet nicht im Augenblick des Einspritzens in den Zylinder; die Zündung erleidet vielmehr, je nach der chemischen Zusammensetzung des Kraftstoffes, eine mehr oder minder große Verzögerung. Die Zündwilligkeit eines unbekannten Kraftstoffes wird ebenfalls im Vergleich mit dem Verhalten von Kunstgemischen aus bekannten Eichstoffen angegeben. Als Vergleichsstoffe benutzt man Ceten ($C_{16}H_{32}$ Kp. 274° leichtzündend) und 1-Methylnaphthalin (Kp. 240 bis 243° schwerzündend). Die Zündwilligkeit wird in Cetenzahlen, d. h. in Volumen-Prozent derjenigen Eichstoffmischung angegeben, die dasselbe Zündverhalten wie der zu prüfende Kraftstoff hat.

Obwohl die motorische Eignung der Kraftstoffe in erster Linie von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängt, gelang es bisher nicht, die motorische Untersuchung der Kraftstoffe durch eine physikalisch-chemische Prüfweise zu ersetzen. Erst neuerdings sind von Zerbe und Eckert und von Heinze und Marder Beziehungen zwischen dem motorischen Verhalten und bestimmten physikalischen Eigenschaften der Kraftstoffe gefunden worden.

B. Bestimmung der Klopffestigkeit von Benzinen und der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen im Zündwertsprüfer nach Jentzsch.

a) Beschreibung der Apparatur.

Die im Jentzschschen Zündwertsprüfer [1] gemessenen physikalischen Konstanten (Selbstzündungspunkt, oberer Zündwert, unterer Zündwert und vor allem Kennzündwert) der Kraftstoffe stehen nach Zerbe und Eckert [2] zu der motorischen Beurteilung in enger Beziehung, so daß man aus diesen Konstanten Rückschlüsse auf die motorische Eignung der Kraftstoffe ziehen kann.

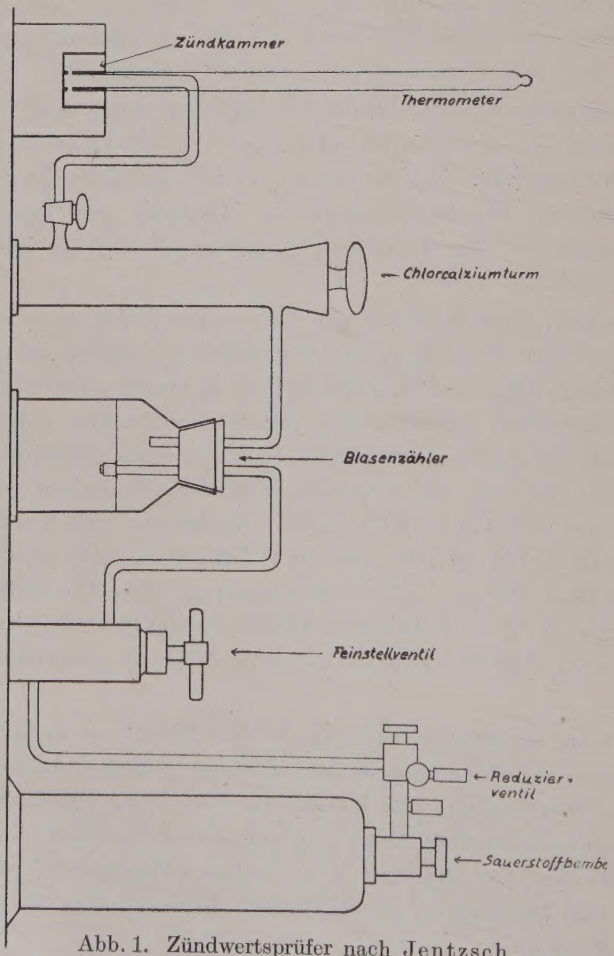

Abb. 1. Zündwertsprüfer nach Jentzsch.

Der Zündwertsprüfer nach Jentzsch (Abb. 1) besteht aus einem elektrisch beheizten Widerstandsofen, in dem ein Zündtiegel von V_2A-Stahl eingelassen ist, der 4 gleich große, symmetrisch angeordnete Bohrungen von je 15 mm Durchmesser und 40 mm Höhe besitzt. In einer dieser Bohrungen wird ein Thermometer oder Thermoelement eingeführt; für den eigentlichen Zündversuch werden die übrigen Zündkammern benutzt. Eine senkrechte Bohrung von 6 mm Durchmesser und 3 radiale Bohrungen von je 3 mm Durchmesser verbinden die einzelnen Zündkammern. Durch diese Bohrungen wird den Zündkammern gleichmäßig Sauerstoff zugeleitet, der mit einer geeichten Düse nach der Blasenanzahl je Minute gemessen wird. Die Sauerstoffblasengröße ist so abgemessen, daß 60 Blasen 5 cm^3 Sauerstoff von Atmosphärendruck entsprechen. Den Sauerstoff, dessen Druck man mit einem Reduzierventil auf genau 1 Atm. gebracht hat, entnimmt man einer Bombe. Durch ein zweites Feinventil stellt man die zugeführte Sauerstoffmenge, die zur Trocknung durch einen Chlorcalciumturm geleitet wird, auf die gewünschte Blasenzahl ein. Vor den Versuchen werden in die Zündkammern kleine Vergaserteller aus nichtrostendem Stahl eingesetzt. Die flüssigen Brennstoffe werden mit einer genormten Pipette auf die Vergasungsteller getropft. Nach jeder Messung werden die Teller ausgewechselt und durch neue ersetzt, um Rückstände und schwere Gase, die die Zündung der Kraftstoffdämpfe beeinflussen können, zu entfernen.

b) Definition der Zündwerte und Durchführung der Messungen.

Bestimmung des Selbstzündungspunktes.

Unter dem Selbstzündungspunkt (Szpt.) versteht man diejenige Temperatur, bei der unter Zuführung von viel Sauerstoff (300–400 Blasen/min) Zündung eintritt.

Zu seiner Bestimmung stellt man eine Sauerstoffblasenzahl von 300 bis 400 Blasen/min ein und heizt den Ofen rasch an. Hat man die Temperatur um etwa 100° unterhalb des zu erwartenden Selbstzündungspunktes erreicht, so steigert man von nun an die Temperatur nur noch langsam. Von 5° zu 5° gibt man den zu untersuchenden Kraftstoff in eine der Zündkammern, von denen jeweils immer nur eine benutzt wird, und beobachtet die eintretende Zündung. Um das Eintreten der Zündung besser beobachten zu können, bringt man einen Metallspiegel schräg über der Zündkammer an. Nach Eintreten der Zündung stellt man die Heizung ab und ermittelt die Temperatur, bei der die Zündung des Kraftstoffes aussetzt. Die Zündungen, die meist von einem lauten Knall begleitet sind, sind

am Aufflammen des Kraftstoffes in der Zündkammer leicht zu erkennen. Nach dem Aufhören der Zündung heizt man den Ofen wieder an (etwa 1° Temperaturerhöhung/min) und bestimmt nun bei wesentlich langsamerer Steigerung der Temperatur den Zündungseintritt; die so ermittelte Temperatur ist die Selbstzündungstemperatur oder der Selbstzündungspunkt (Szpt.) des untersuchten Stoffes.

Bestimmung des oberen Zündwertes.

Der obere Zündwert ist die Temperatur, bei der ohne Zufuhr von Sauerstoff Zündung eintritt.

Zu seiner Bestimmung verfährt man genau so wie bei Bestimmung des Selbstzündungspunktes, nur ohne Zufuhr von Sauerstoff.

Bestimmung des unteren Zündwertes.

Der untere Zündwert (Z_u) ergibt sich, wenn man den Selbstzündungspunkt durch die zur Zündung benötigte kleinste Sauerstoffblasenzahl, vermehrt um eins, teilt.

$$Z_u = \frac{Szpt}{b+1}$$

Z_u = unterer Zündwert
$Szpt$ = Selbstzündungspunkt
b = kleinste zur Zündung nötige Blasenzahl.

Zu seiner Bestimmung hält man die Selbstzündungstemperatur mit Hilfe des elektrischen Widerstandes konstant und verändert die Sauerstoffblasenanzahl so lange, bis eben noch Zündung eintritt. Hat man diesen Punkt erreicht, so vermindert man die Sauerstoffblasenanzahl um eins, so daß nun keine Zündung mehr eintreten kann. Diese Sauerstoffblasenanzahl wird jetzt konstant gehalten, während man die Temperatur im Frühzündungsgebiet steigert, bis wieder Zündung eintritt. Unter Frühzündungsgebiet versteht man den Temperaturbereich vom Selbstzündungspunkt bis 30° oberhalb. Jetzt wird die Temperatur wieder konstant gehalten, jedoch die Blasenzahl solange variiert, bis gerade noch Zündung auftritt. Hat man diese Blasenzahl erreicht, so wird sie wieder um eins vermindert und dann konstant gehalten. Diese wechselseitigen Bestimmungen werden so oft wiederholt, bis man wirklich die niedrigste Sauerstoffblasenzahl im Frühzündungsgebiet ermittelt hat. Die Bestimmung des unteren Zündwertes ist sehr langwierig und erfordert viel Geduld.

Bestimmung des Kennzündwertes.

Der Kennzündwert (Z_k) ist der Quotient aus dem oberen Zündwert abzüglich des Selbstzündungspunktes und der niedrigsten Sauerstoffblasenzahl, vermehrt um eins.

$$Z_k = \frac{Z_o - Szpt}{b + 1}$$

Z_k = Kennzündwert; Z_o = oberer Zündwert, $Szpt$ = Selbstentzündungspunkt, b = kleinste zur Zündung nötige Blasenzahl.

Die Bestimmung des Kennzündwertes wird in derselben Weise wie die des unteren Zündwertes vorgenommen.

c) Beziehungen der Zündwerte zu der Oktanzahl von Leichtkraftstoffen.

Von allen genannten Konstanten (Selbstzündungspunkt [*Szpt*], oberer Zündwert [Z_o], unterer Zündwert [Z_u] und Kennzündwert [Z_k]) hat der Kennzündwert die größte Bedeutung, da er allein mit dem motorischen Verhalten der Leichtkraftstoffe hinsichtlich ihrer Klopffestigkeit in Beziehung steht. Zerbe und Eckert [2] haben auf diese Zusammenhänge hingewiesen. Es ist nach beiden Forschern möglich, aus dem Kennzündwert eines Benzins (besonders gut bei Naturbenzinen) Aussagen über das motorische Verhalten hinsichtlich seiner Klopffestigkeit zu machen. Um die auf den Kennzündwert gegründete Bewertung von Kraftstoffen der motorischen Eignungsbestimmungen anzugleichen, bestimmten Zerbe und Eckert die Kennzündwerte von Mischungen aus Iso-Oktan und Normal-Heptan. Die Ergebnisse sind in Abb. 2 aufgezeichnet. Die Eichkurve der Abb. 2 wird zur Bestimmung der Oktanzahl benutzt. Dabei zeigte es sich jedoch, daß vor allem bei Benzinen mit klopffestigkeitserhöhenden Zusätzen (wie z. B. Tetraäthylblei, Eisenkarbonyl u. a. m.) große Schwankungen auftraten. Zerbe und Eckert führen diese Schwankungen auf eine Verzögerung zurück, die die Zündung der Kraftstoffe sowohl im Motor wie im Zündwertsprüfer nach der Einspritzung erleidet. Um diesen Einfluß der Zündverzögerung zu erfassen, haben Zerbe und Eckert eine Methode zu seiner Prüfung im Zündwertsprüfer nach Jentzsch ausgearbeitet.

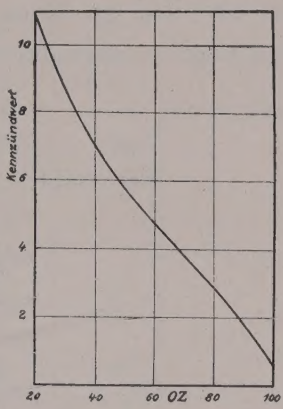

Abb. 2. Eichkurve nach Zerbe und Eckert zur Errechnung der Oktanzahl aus dem Kennzündwert von Benzinen.

Die Zündverzögerung eines Benzins wird nach Zerbe und Eckert wie folgt bestimmt: „Der Zündverzug wird bei Benzinen bei 320° und 120 Blasen/min bestimmt. Bei der Bestimmung ist auf genaue Einhaltung der Temperatur zu achten. Ist die Temperatur und die genaue Blasenzahl konstant eingestellt, so gibt man einen Tropfen Stoff in die mittlere Zündkammer und ermittelt aus drei Versuchen die Zeit bis zur Zündung mit der Stoppuhr genau in Sekunden.“ Zur Berichtigung des Kennzündwertes wird ein Faktor F eingeführt, der von Zerbe und Eckert aus dem Zündverzug errechnet und empirisch festgelegt wurde. Hierüber berichten die genannten beiden Forscher folgendes: „Um bei Motoren-Benzinen und Gemischen einen Vergleich mit den sogenannten Oktanzahlen zu ermöglichen, berichtigt man den Kennzündwert mit Hilfe eines Faktors F, der sich aus der Höhe des Zündverzuges und der Erfahrung, daß Naturbenzine unvermischt in der Regel einen Zündverzug von 3 sec aufweisen, ergibt. Fand man z. B. für ein Gemisch den Zündverzug 10 sec bei 320° und 120 Bl/min, so ist der Faktor $F = \frac{10-3}{10} = 0{,}7$, und der berichtigte Kennzündwert ergibt sich aus $Z_{k\,(\mathrm{ber.})} = x - f$.

Beispiel:

Szpt	$= 305°$
Blasenzahl	$= 46$
Z_o	$= 520$
Z_u	$= \frac{305}{46+1} = 6{,}5$
w	$= 10$ sec
f	$= \frac{10-3}{10} = 0{,}7$
Z_k	$= \frac{520-305}{46+1} = 4{,}58$
$Z_{k\,(\mathrm{ber.})}$	$= 4{,}58 - 0{,}7 = 3{,}88.$

An Hand dieses berichtigten Kennzündwertes stellt man dann aus der Eichkurve die Zündwertoktanzahl fest.“

Um die Brauchbarkeit der Zündwertsmethode zur Eignungsbestimmung von Kraftstoffen zu prüfen, wurden die Kennzündwerte und Zündverzögerungen von 25 Benzinen bestimmt; ihre Oktanzahlen wurden aus der Eichkurve nach Zerbe und Eckert errechnet (s. Zahlentafel 1). Außerdem wurden die Kennzündwerte und die Oktanzahlen der Benzine in einem Diagramm gegeneinander aufgetragen (s. Abb. 3). Die in dem Diagramm Abb. 3 in Erscheinung tretenden Beziehungen zwischen den Kennzündwerten und den Oktanzahlen von Kraftstoffen sind nur qualitativer Natur und können nicht ohne weiteres zur Oktanzahlbestimmung

Zahlentafel 1.

Benzin-Nr.	Z_k	W in sec	F	Z_k ber.	Oktanzahl aus Z_k	CFR-Motor-Oktanzahl	Unterschied 6–7	Bemerkungen
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,9	1	−2	2,1	88	87	1	
2	1,7	—	—	1,7	90	80	10	
3	1,4	2	−1	1,5	93	80	13	
4	1,4	2	−1	1,5	93	87	7	
5	1,7	—	—	1,7	90	77	13	Zusätze
6	2,2	—	—	2,2	86	67	21	„
7	5,5	10	7	4,9	58	74	−16	
8	5,0	5	2	4,8	58	71	−13	
9	4,8	6	3	4,5	63	70	−13	
10	4,0	9	6	3,4	75	72	3	
11	5,9	6	3	5,6	50	67	−17	
12	7,3	7	4	6,9	41	55	−14	
13	6,7	7	4	6,3	44	65	−21	
14	5,2	15	12	4,0	68	66	2	Alkoh. Zus.
15	5,4	2	−1	5,5	50	64	−14	
16	4,0	2	−1	4,1	68	71	−3	
17	8,3	13	10	7,3	38	55	−17	
18	3,9	1	−2	4,1	68	67	1	
19	3,7	1	−2	3,9	70	73	−3	
20	6,7	9	6	6,1	48	56	−8	
21	8,0	14	11	6,9	41	57	−16	
22	4,3	2	−1	4,4	64	73	−9	
23	2,3	—	—	2,3	85	79	6	
24	3,6	2	−1	3,5	75	73	2	
25	7,2	11	8	6,4	45	67	−22	Spaltbenzin

Mittelwert: ±11

Z_k = Kennzündwert $\qquad F = \frac{W-3}{10}$

W in sec = Zündverzug $\qquad Z_{k\,(\text{ber.})} = Z_k - F$

benutzt werden. Die zwischen den motorischen und den nach der Zündwertsmethode bestimmten Oktanzahlen auftretenden Unterschiede sind so bedeutend, daß die Zündwertsmethode höchstens für eine qualitative Beurteilung der Klopffestigkeit von Benzinen herangezogen werden kann (s. Zahlentafel 1). Eine bessere Übereinstimmung der motorischen mit

der Zündwertsoktanzahl läßt sich jedoch erreichen, wenn man den Einfluß der Siedekennziffer auf die Oktanzahl nach folgendem Gedankengang berücksichtigt: Der Zündverzug eines Kraftstoffes ist durch seine Verdampfbarkeit bedingt, je leichter ein Kraftstoff verdampft, desto kürzer ist der Zündverzug. Die Verdampfbarkeit aber steht wieder in engem Zusammenhang mit dem Siedepunkt eines chemisch einheitlichen Stoffes. Je höher der Siedepunkt — bei technischen Gemischen die Siedekennziffer (*KZ*) — eines Kraftstoffes ist, desto geringer ist seine Verdampfbarkeit. Wenn also die Siedekennziffer eines Stoffes ein Maß für die Verdampfbarkeit und die Verdampfbarkeit wiederum ein Maßstab der Zündverzögerung ist, müßte man mit Hilfe der Siedekennziffer die Zündverzögerung erfassen können. Deshalb wurde der Kennzündwert mit Hilfe der Siedekennziffer berichtigt. Die Berichtigung wird in der folgenden Weise vorgenommen: Der Berichtigungsfaktor f_1 errechnet sich empirisch nach der Gleichung $f_1 = (KZ - 110) \cdot 0{,}06$ und der berichtigte Kennzündwert ergibt sich aus der Gleichung

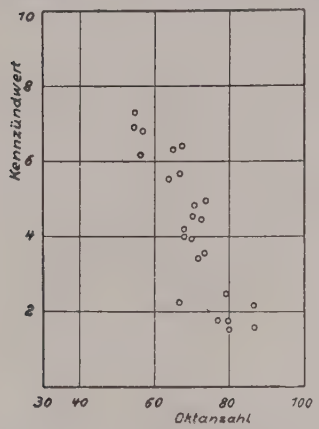

Abb. 3. Abhängigkeit der berichtigten Kennzündwerte von der Oktanzahl.

$$Z_{k\,(\mathrm{ber.})} = Z_k - f_1.$$

Die nach Einführung der Kennzifferberücksichtigung erhaltenen Kennzündwerte sind in Abb. 4 in Abhängigkeit von den Oktanzahlen der Kraftstoffe dargestellt. Gegenüber den in Abb. 3 aufgezeigten Abhängigkeiten zwischen den Motor- und Zündwert-Oktanzahlen sind wesentliche Verbesserungen zu verzeichnen, obwohl bei einigen Benzinen mit Zusätzen noch größere Abweichungen von einer mittleren Kurve auftreten. Benutzt man diese mittlere Kurve, die die Oktanzahlabhängigkeit der mit der Siedekennziffer berichtigten Kennzündwerte darstellt, zur Errechnung der Oktanzahlen von Kraftstoffen aus ihren Kennzündwerten und Siedekennziffern, so erhält man eine wesentlich bessere Übereinstimmung der

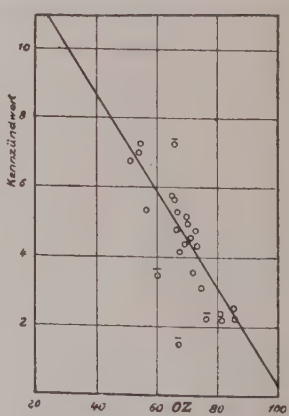

Abb. 4. Abhängigkeit des mit der Siedekennziffer berichtigten Kennzündwertes von der Oktanzahl, umgerechnet auf die Siedekennziffer 110.
$\bar{o}$ = Benzine mit Zusätzen.

Zahlentafel 2.

Benzin-Nr.	KZ	f_1	Z_k	Z_k ber.	Oktanzahl aus Z_k	CFR-Motor-Oktanzahl	Unterschied 6–7	Bemerkungen
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	101	−0,5	1,9	2,4	86	87	−1	
2	100	−0,6	1,7	2,3	86	80	6	
3	99	−0,7	1,4	2,1	87	80	7	
4	98	−0,7	1,4	2,1	87	87	0	
5	101	−0,5	1,7	2,1	87	77	10	Zusätze
6	118	0,5	2,2	1,7	90	67	23	„
7	123	0,8	5,5	4,7	69	74	−5	
8	116	0,4	5,0	4,6	70	71	−1	
9	118	0,5	4,8	4,3	71	70	1	
10	112	0,1	4,0	3,9	75	72	3	
11	120	0,6	5,9	5,3	65	67	−2	
12	113	0,2	7,3	7,1	52	55	−3	
13	123	0,8	6,7	5,9	61	65	−4	
14	148	1,7	5,2	3,5	77	66	11	Alkoh.-Zus.
15	101	−0,5	5,4	5,8	62	64	−2	
16	90	−1,2	4,0	5,2	65	71	−6	
17	132	1,3	8,3	7,0	54	55	−1	
18	97	−0,8	3,9	4,7	68	67	1	
19	104	−0,4	3,7	4,1	73	73	0	
20	131	1,3	6,7	5,4	62	56	6	
21	132	1,3	8,0	6,7	54	57	−3	
22	106	−0,2	4,3	4,5	70	73	−3	
23	96	−0,9	2,3	3,2	78	79	−1	
24	109	−0,1	3,6	3,7	75	73	2	
25	107	−0,7	7,2	7,4	54	67	−13	Spaltbenzin

Mittelwert: ±5

KZ = Siedekennziffer Z_k = Kennzündwert

$f_1 = (110 - KZ) \cdot 0{,}06$ $Z_{k\,(\text{ber.})} = Z_k - f_1$

errechneten Oktanzahlen mit den motorisch gemessenen (vgl. Zahlentafel 1 und 2), als es bei Verwendung der von Zerbe und Eckert aufgestellten Eichkurve der Fall ist. Es erscheint demnach möglich, bei Verwendung des mit der Siedekennziffer berichtigten Kennzündwertes aus der aufgestellten Kurve in Abb. 4 die Klopffestigkeit von Benzinen (ohne Zusätze) zu bestimmen.

Eine Zusammenstellung der im Zündwertsprüfer nach Jentzsch gemessenen Zündwerte findet sich in Zahlentafel 6.

d) Beziehungen der Zündwerte zu der Cetenzahl von Dieselkraftstoffen.

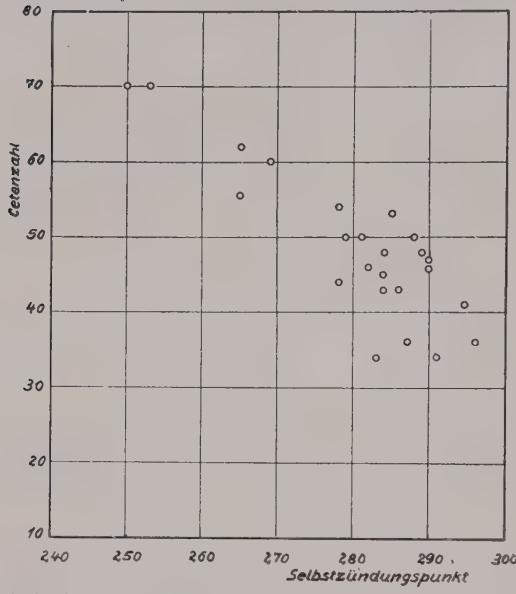

Abb. 5. Beziehung der Cetenzahl von Dieselkraftstoffen zum Selbstzündungspunkt ohne Berücksichtigung der Siedekennziffer.

Zwischen der Zündwilligkeit und den Zündwerten von Dieselkraftstoffen wurden bisher keine Beziehungen festgestellt. Der Vollständigkeit halber wurden trotzdem die Zündwerte einer Anzahl von Dieselkraftstoffen gemessen und in Abhängigkeit von der Cetenzahl in einem Diagramm aufgetragen. Aus den in der Arbeit nicht wiedergegebenen Diagrammen geht hervor, daß eine Abhängigkeit nicht besteht. Eine nur angenäherte Be-

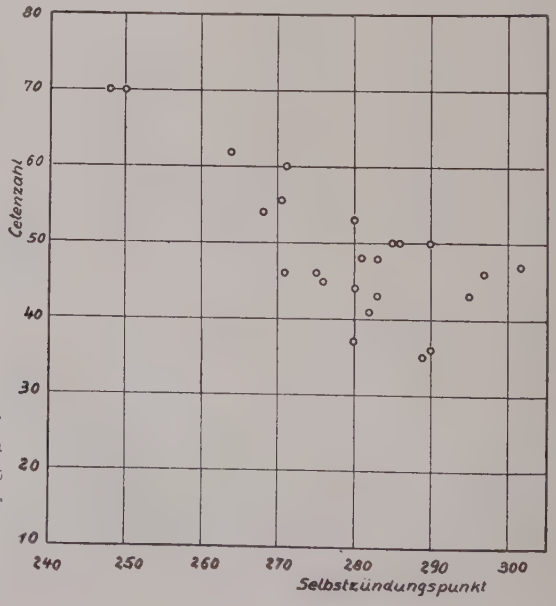

Abb. 6. Beziehung der Cetenzahl von Dieselkraftstoffen zum Selbstzündungspunkt mit Berücksichtigung der Siedekennziffer.

ziehung zur Cetenzahl gab der Selbstzündungspunkt. Eine zur Bestimmung der Cetenzahl brauchbare Abhängigkeit tritt also nicht auf und wird auch durch Einbeziehung des Siedekennziffereinflusses auf die Cetenzahl nicht erhalten (s. Abb. 5 und 6).

Eine Zusammenstellung der im Zündwertsprüfer nach Jentzsch gemessenen Zündwerte von Diesel-Kraftstoffen findet sich in Zahlentafel 7.

C. Bestimmung der Klopffestigkeit von Vergaser-Kraftstoffen und Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen mit Hilfe physikalischer Konstanten nach Heinze-Marder [3].

Mehrere physikalische Konstanten (Dichte und Parachor) stehen nach Heinze und Marder mit der motorischen Eignung in engster Beziehung, so daß es möglich ist, aus diesen Konstanten auf die motorische Eignung von Kraftstoffen zu schließen.

a) Beschreibung der Meßmethode.

Die Bestimmung der Dichte.

Die Dichte eines Kraftstoffes ist das Gewicht eines cm^3 bei der Temperatur $t°$. Sie wird im Pyknometer nach Vorschrift DIN D.V.M. 3653 ermittelt. Zur Bestimmung der Dichte von leichtsiedenden Stoffen (Benzinen) ist nach folgender Vorschrift zu arbeiten.

Die zu bestimmende Flüssigkeit wird mit einer Temperatur unter 20° in das Pyknometer eingefüllt und in einem Wärmebad auf genau 20° erwärmt. Die durch den Temperaturanstieg aus dem seitlichen Ansatzstutzen austretende Flüssigkeit wird mit Filtrierpapier abgetupft. Bei 20° wird das Verschlußhäubchen aufgesetzt und das Gefäß sofort in Eis gestellt. Durch die mit der Temperaturerniedrigung verbundene Volumenabnahme zieht sich die Flüssigkeit aus dem Ansatzstutzen zurück; nun wird sauber abgetrocknet und gewogen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Temperatur 20° während der Wägung nicht übersteigt, weil sonst das Verschlußhäubchen durch die sich ausdehnende Flüssigkeit angehoben wird und dann infolge Verdunstung Wägefehler auftreten, die im anderen Falle praktisch ausgeschlossen sind.

Messung der Oberflächenspannung.

Die Oberflächenspannung ist die Arbeit, die notwendig ist, um 1 cm^2 Oberfläche einer Flüssigkeit gegen ihren Dampf oder gegenüber Luft auf-

zubauen. Sie wird in dyn/cm oder in erg/cm² ausgedrückt. Die Bestimmung der Oberflächenspannung wird am einfachsten in dem von Ubbelohde [4] angegebenen Steighöhenmeßapparat durchgeführt. Man füllt den zu untersuchenden Stoff (Benzin oder Öl) in das Meßgefäß, das sich in einem Thermostaten befindet, bis zur Marke C und drückt ihn dann mit geringem Überdruck in die Kapillare K. Nach der Druckentlastung fällt die Steighöhe rasch auf den Wert der zugehörigen Oberflächenspannung. Man liest mit einem Okularmikrometer zehnfach vergrößert ab. Die Oberflächenspannung errechnet man aus der Steighöhe nach der Gleichung:

$$\sigma_x = h_x \cdot d_x \cdot y$$

x = Oberflächenspannung der zu untersuchenden Stoffe,
h_x = Steighöhe der zu untersuchenden Stoffe,
d_x = Dichte der zu untersuchenden Stoffe,
y = Eichkonstante des Apparates.

Der Parachor errechnet sich aus der Oberflächenspannung und der Dichte nach der Gleichung:

$$p = \sigma^{1/4} \cdot \frac{1}{d}.$$

Dieser Ausdruck ist für jede Molekülart nahezu temperaturunabhängig. Er wurde von Sugden [5] aufgestellt und von Marder [6] erstmalig in der obigen Form in die Mineralölchemie eingeführt.

b) Beziehungen des Parachors zur Klopffestigkeit von Benzinen.

Heinze und Marder haben zur Bestimmung der motorischen Eignung von Benzinen den Parachor (und die Dichte) in Abhängigkeit von der Oktanzahl aufgetragen und fanden eine Eichkurve für Benzine der Siedekennziffer 110. Die Abhängigkeit für Benzine anderer Siedekennziffern laufen zu den gezeichneten Kurven parallel.

Die Oktanzahlen der Kraftstoffe errechnen sich mit Hilfe der Eichkurve aus der Gleichung:

$$OZ = OZ_{110} + (110 - KZ) \cdot 0{,}3$$

OZ = motorische Oktanzahl des Kraftstoffes,
OZ_{110} = Oktanzahl des Kraftstoffes, die er unter sonst gleichen Eigenschaften bei der Siedekennziffer 110 besitzen würde,
KZ = Siedekennziffer.

Die Bestimmung der Siedekennziffer erfolgt nach Engler-Ubbelohde [7] in der üblichen Weise unter Berücksichtigung der Thermometerkorrektur für den herausragenden Quecksilberfaden [8].

Zahlentafel 3.

Benzin-Nr.	KZ	f_2	Parachor p	Oktanzahl 110	Parachor-Oktanzahl	Motor-Oktanzahl	Unterschied 6–7	Bemerkungen
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	101	3	2,760	79	82	87	−5	
2	100	3	2,850	74	77	80	−3	
3	99	3	2,771	76	79	80	−1	
4	98	4	2,753	77	81	87	−6	
5	101	3	2,847	73	76	77	−1	Zusätze
6	118	−2	2,908	68	66	67	−1	„
7	123	−4	2,850	74	70	74	−4	
8	116	−2	2,912	69	67	71	−4	
9	118	−2	2,896	70	68	70	−2	
10	112	—	2,901	69	69	72	−3	
11	120	−3	2,907	69	66	67	−1	
12	113	−1	2,961	60	59	55	4	
13	123	−4	2,909	68	64	65	−1	
14	148	−11	2,849	73	62	60	2	Alkoh. Zus.
15	101	3	2,956	60	63	64	−1	
16	90	6	2,928	66	72	72	0	
17	132	−7	2,931	64	57	55	2	
18	97	4	2,967	58	62	67	−5	
19	104	2	2,926	67	69	73	−4	
20	131	−6	2,931	64	58	56	2	
21	132	−7	2,930	65	58	57	1	
22	106	1	2,908	69	70	73	−3	
23	96	4	2,769	78	82	79	3	
24	109	—	2,846	73	73	73	0	
25	107	1	2,908	69	68	67	1	Spaltbenzin

Mittelwert: ±2

KZ = Siedekennziffer $\quad f_2 = (110 - KZ) \cdot 0{,}3$

p = Parachor

Für dieselben 25 Benzine, deren Zündwerte früher gemessen wurden, wurden die Parachor-Oktanzahlen bestimmt; die erhaltenen Werte sind in Zahlentafel 3 niedergelegt.

Ein Vergleich der Parachor- mit der Motor-Oktanzahl lehrt, daß hier engere Beziehungen als zwischen den Zündwerten und der Klopffestigkeit bestehen. Der mittlere Unterschied zwischen Parachor- und Motor-

Oktanzahl ist $\pm$ 2 Oktanzahlen. Da der für die Prüfstandsmessung zulässige Fehler $\pm$ 1 Oktanzahl beträgt, steht also die mit viel einfacheren Mitteln gemessene Parachor-Oktanzahl der motorischen wenig nach.

c) Beziehungen des Parachors zur Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen.

Im Gegensatz zur Zündwertmethode läßt sich die Dichte und der Parachor auch zur Bestimmung der Cetenzahl anwenden. Die Eichkurven der Parachor-Cetenzahl von Braunkohlen- und Erdöl-Dieselkraftstoffen sind von Heinze und Marder aufgestellt worden; die Cetenzahl wird in derselben Weise wie die Oktanzahl nach folgenden Gleichungen bestimmt:

$$CZ = CZ_{290} - (290 - KZ) \cdot 0{,}3 + 0{,}33\,K$$

CZ = motorische Cetenzahl,
CZ_{290} = Cetenzahl des Kraftstoffes, die er unter sonst gleichen Eigenschaften bei der Siedekennziffer 290 besitzen würde,
KZ = Siedekennziffer,
K = Kreosotgehalt in Prozent.

Für Erdöl-Dieselkraftstoffe vereinfacht sich die vorstehende Gleichung, da sie keine Kreosote enthalten.

Nach der von Heinze und Marder abgeleiteten Beziehung wurde die Cetenzahl für eine Anzahl Erdöl- und Braunkohlen-Dieselkraftstoffe bestimmt. Eine Zusammenstellung dieser Werte findet sich in Zahlentafel 4.

Für die aus physikalischen Messungen errechneten Cetenzahlen gilt sinngemäß dasselbe, was von der Parachor-Oktanzahl ausgesagt wurde. Da der mittlere Unterschied zwischen der Motor- und der Parachor-Cetenzahl ungefähr $\pm$ 1,5 beträgt, kann man die letztere unbedenklich als Maßstab für die Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen verwenden.

D. Beziehungen der Zündwerte (Selbstzündungspunkt und Kennzündwert) zu den physikalischen Konstanten (Parachor und Dichte).

Durch die vorstehenden Untersuchungen wurde festgestellt, daß die Zündwerte und die Oktanzahlen von Leichtkraftstoffen in einer etwa linearen Beziehung zueinander stehen, wenn man für die Siedekennziffer der Kraftstoffe einen Berichtigungsfaktor in Rechnung setzt. Dasselbe gilt in noch ausgeprägterem Maße für die Parachore und die Oktanzahlen der Leichtkraftstoffe. Da also sowohl die Zündwerte wie die Parachore

Zahlentafel 4.

Braunkohlendiesel-Kraftstoffe.

Öl-Nr.	*KZ*	d_{20}	*p*	Kreosot	Parachor-Cetenzahl	Motor-Cetenzahl	Unterschied 6–7
1	2	3	4	5	6	7	8
1	259	0,8853	2,647	1	42	43	−1
2	311	0,9233	2,570	3	46	48	−2
3	315	0,9300	2,564	1	44	45	−1
4	284	0,9348	2,528	14	33	34	−1
5	301	0,9130	2,583	4	45	48	−3
6	267	0,8936	2,631	2	43	46	−3
7	250	0,8789	2,663	0,5	46	47	−1
8	326	0,9298	2,563	2	47	46	1
9	271	0,8787	2,662	1	49	50	−1
10	270	0,8779	2,660	0,5	48	50	−2
11	323	0,9185	2,586	1	51	54	−3
12	329	0,9340	2,539	1	41	41	0
13	313	0,9268	2,550	7	37	37	0
14	282	0,8840	2,646	1	50	50	0
15	307	0,8955	2,618	1	52	53	−1
16	297	0,9368	2,508	21	33	34	−1
17	309	0,9302	2,535	11	38	36	2
18	292	0,8972	2,620	2	44	43	1
19	320	0,9235	2,557	8	45	46	−1
20	299	0,8360	2,766	0	71	70	1
						Mittelwert:	±1

Erdöldiesel-Kraftstoffe.

21	277	0,8599	2,687	—	42	39	3
22	295	0,8767	2,664	—	44	44	0
23	288	0,8461	2,733	—	54	56	−2
24	306	0,8765	2,664	—	47	52	−5
25	256	0,8422	2,733	—	49	51	−2
26	281	0,8300	2,776	—	63	63	0
27	267	0,8536	2,712	—	46	49	−3
28	291	0,8510	2,723	—	53	51	2
29	312	0,9124	2,577	—	37	39	−2
30	328	0,8865	2,644	—	52	50	2
						Mittelwert:	±2

der Leichtkraftstoffe den Oktanzahlen proportional sind, stehen offenbar die Zündwerte und die Parachore in einem linearen Verhältnis zueinander.

Im Diagramm der Abb. 7 sind die Parachore einer Anzahl von Benzinen auf der Ordinate, ihre Kennzündwerte auf der Abszisse aufgetragen. Eine lineare Beziehung ist zunächst nicht ersichtlich. Berücksichtigt man jedoch, daß die Kennzündwerte wie die Parachore nur von Benzinen der

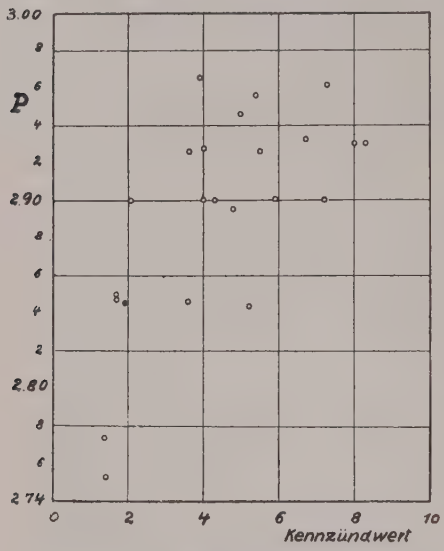

Abb. 7. Beziehung des Parachors von Leichtkraftstoffen zu ihren Kennzündwerten ohne Berücksichtigung der Siedekennziffer.

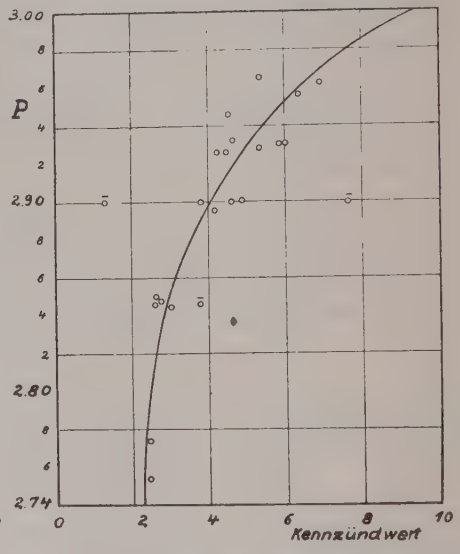

Abb. 8. Beziehung des Parachors von Leichtkraftstoffen zu ihren Kennzündwerten mit Berücksichtigung der Siedekennziffer, auf die Siedekennziffer 110 bezogen.
$\bar{o}$ = Benzine mit Zusätzen.

gleichen Siedekennziffer eine lineare Abhängigkeit von der Oktanzahl der Benzine aufweisen, so wird es erklärlich, daß die Linearität zwischen den Kennzündwerten und den Parachoren nur für Benzine gleicher Siedekennziffer in Erscheinung treten kann.

Die in Abb. 8 dargestellte Beziehung zwischen Kennzündwert und Parachor wurde so erhalten, daß man die Siedekennziffer der Kraftstoffe in ähnlicher Weise berücksichtigte wie bei der Oktanzahlbestimmung aus dem Parachor, d. h. man legt eine mittlere Bezugsiedekennziffer fest (110) und rechnet die Kennzündwerte der Kraftstoffe so um, als hätten sie sämtlich die Siedekennziffer 110. Die Umrechnung geschieht nach der Gleichung:

$$Z_{K\,110} = Z_K + (110 - KZ) \cdot 0{,}09.$$

Die Gleichung ergibt sich aus dem experimentellen Befund, daß der Kennzündwert eines Kraftstoffes bei einer Siedekennziffer-Erhöhung um eins eine Kennzündwerterhöhung um 0,09 erfährt.

Die in Abb. 8 zu den Parachoren in Beziehung gesetzten Kennzündwerte lassen tatsächlich eine befriedigende Abhängigkeit dieser beiden Konstanten voneinander erkennen. Die Abweichung von einer mittleren Kurve beträgt im Durchschnitt $\pm$ 0,6 Einheiten des Kennzündwertes.

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Abhängigkeit des Selbstzündungspunktes von dem Parachor der Leichtkraftstoffe (Abb. 9). Zeichnet man auch in diesem Falle eine mittlere Kurve ein, so streuen die Selbstzündungspunkte innerhalb eines Bereiches von 3° im Mittel. Da bei den Messungen im Zündwertsprüfer der zulässige Fehler auf $\pm$ 2%, d. h. bei einem Selbstzündungspunkt von 300° etwa auf $\pm$ 6° angegeben wird, so sind die Streuungen in der obigen Abhängigkeit durch Fehler, die durch die Meßmethode bedingt sind, hervorgerufen.

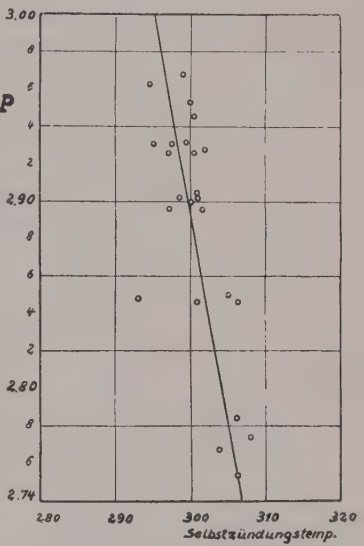

Abb. 9. Beziehung des Parachors von Leichtkraftstoffen zu ihren Selbstzündungspunkten mit Berücksichtigung der Siedekennziffer, auf die Siedekennziffer 110 berechnet.

Bei näherer Betrachtung der in Abb. 8 und 9 aufgezeigten Beziehungen erkennt man folgendes: die Kennzündwerte bzw. Selbstzündungspunkte Parachor-Abhängigkeiten verlaufen so, daß eine große Änderung der Parachore eine nur kleine Änderung der Zündwerte hervorruft, daß aber geringe Meßfehler bei den Zündwertsbestimmungen bereits wesentliche Abweichungen von der mittleren Zündwerts-Parachorkurve (Abb. 8 und 9) zur Folge haben. Dies bedeutet, daß man mit Hilfe des Parachors sehr wohl die Zündwerte von Benzinen bestimmen kann, umgekehrt aber die aus den Zündwerten ermittelten Parachore ungenau sind. In Zahlentafel 5 wurden die aus den Parachoren errechneten Zündwerte den im Zündwertsprüfer gemessenen gegenübergestellt. In Abb. 10 wurden die ersteren zu den Oktanzahlen der Kraftstoffe in Beziehung gesetzt. Vergleicht man die sich dabei ergebende Abhängigkeit mit derjenigen, die auf Grund der im Zündwertsprüfer gemessenen Zündwerte erhalten wurde (Abb. 3 und Tafel 1), so erkennt man die Überlegenheit der Parachor-

Zahlentafel 5.

Benzin-Nr.	Z_k experim. gefunden	Z_k auf S_k 110 umgerechnet	Z_k aus dem Parachor f. d. S_k 110	Bemerkungen
1	2	3	4	5
1	1,9	2,7	2,3	
2	1,7	2,6	3,0	
3	1,4	2,4	2,3	
4	1,4	2,5	2,2	
5	1,7	2,5	2,9	Zusätze
6	2,2	1,5	4,0	„
7	5,5	4,3	4,9	
8	5,0	4,5	5,7	
9	4,8	4,1	3,9	
10	4,0	3,8	4,1	
11	5,9	5,0	4,1	
12	7,3	7,0	6,4	
13	6,7	5,5	4,1	
14	5,2	3,8	3,0	Alkoh. Zus.
15	5,4	6,3	6,1	
16	4,0	5,8	4,9	
17	8,3	6,1	5,3	
18	3,9	5,1	6,7	
19	3,7	4,3	4,8	
20	6,7	4,8	5,0	
21	8,0	6,1	5,1	
22	4,3	4,6	4,0	
23	2,3	3,2	2,3	
24	3,6	3,6	2,9	
25	7,2	7,2	4,0	Spaltbenzin

über die Zündwertmethode. Daraus ist zu folgern, daß der im Zündwertsprüfer zulässige Meßfehler offenbar zu groß ist, um die an sich bestehenden guten Beziehungen zwischen den Oktanzahlen und den Zündwerten mit genügender Genauigkeit zu erfassen. Es ist daher besser und einfacher, die Zündwerte von Kraftstoffen mit Hilfe des Parachors zu bestimmen. Ist es aber notwendig, erst den Parachor zu einer einwandfreien Messung der Zündwerte heranzuziehen, so ist es sinnvoller, den Parachor unmittelbar zur Oktanzahlbestimmung von Benzinen zu verwenden.

Zahlentafel 6.
Zusammenstellung der im Zündwertsprüfer nach Jentzsch gemessenen Zündwerte von Benzinen.

Benzin-Nr.	*Szp*	Z_0	Z_k	*W* in sec	Z_k ber.	Bemerkungen
1	2	3	4	5	6	7
1	318	572	1,9	1	2,1	
2	316	550	1,7	—	1,7	
3	318	535	1,4	2	1,5	
4	316	565	2	1,4	1,5	
5	306	543	1,7	—	1,7	Zusätze
6	298	540	2,2	—	2,2	„
7	295	538	5,5	10	4,9	
8	295	530	5,0	5	4,8	
9	297	523	4,8	6	4,5	
10	298	520	4,0	9	3,4	
11	297	528	5,9	6	5,6	
12	299	533	7,3	7	6,9	
13	275	535	6,7	7	6,3	
14	286	523	5,2	15	4,0	Alkoholzus.
15	291	545	5,4	2	5,5	
16	312	525	4,0	2	4,1	
17	292	550	8,3	13	7,3	
18	304	530	3,9	1	4,1	
19	319	545	3,7	1	3,9	
20	289	570	6,7	9	6,1	
21	284	565	8,0	14	6,9	
22	285	535	4,3	2	4,4	
23	302	538	2,3	—	2,3	
24	292	525	3,6	2	3,5	
25	295	558	7,2	11	6,4	Spaltbenzin

Zwischen den im Zündwertsprüfer ermittelten Zündwerten und den Cetenzahlen von Dieselkraftstoffen konnten keine brauchbaren Beziehungen abgeleitet werden (vgl. Abb. 5 und 6). Errechnet man aber die Zündwerte der Dieselkraftstoffe in derselben Weise wie bei den Benzinen aus dem Parachor und trägt diese Werte in einem Diagramm gegenüber den Cetenzahlen ein (Abb. 11), so wird ersichtlich, daß auch zwischen den Zündwerten und den Cetenzahlen von Dieselkraftstoffen Beziehungen bestehen, die zur Cetenzahlbestimmung herangezogen werden können. Die

Zahlentafel 7.

Zusammenstellung der im Zündwertsprüfer nach Jentzsch gemessenen Zündwerte von Diesel-Kraftstoffen.

	Öl-Nr.	*Szpt*	Z_0	Z_k
Braunkohl.-Dieselkr.	1	286	558	7,0
	2	289	567	6,6
	3	284	542	4,2
	4	283	553	4,0
	5	284	548	5,9
	6	290	550	5,8
	7	290	541	3,5
	8	282	550	7,6
	9	279	549	7,3
	10	281	550	6,4
	11	278	540	8,1
	12	294	563	6,9
	13	287	558	4,2
	14	288	568	6,4
	15	285	554	7,0
	16	291	581	7,2
	17	296	573	5,2
	18	284	560	5,9
	19	284	550	5,8
	20	250	515	8,9
Erdöl-Dieselkr.	21	270	550	12,7
	22	262	562	12,0
	23	258	560	11,0
	24	268	538	9,8
	25	270	550	12,7
	26	260	550	11,2
	27	264	570	9,0
	28	261	555	16,3
	29	272	537	25,1
	30	256	565	20,2

im Zündwertsprüfer gemessenen Zündwerte der Dieselkraftstoffe sind offensichtlich so ungenau, daß aus ihnen die zwischen der Cetenzahl und den Zündwerten der Dieselkraftstoffe vorhandenen Beziehungen nicht ersehen werden können.

Es muß also letzten Endes der Schluß gezogen werden, daß die Bestimmung der Klopffestigkeit von Benzinen und der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen in einer Laboratoriumsmethode am einfachsten und genauesten mit Hilfe physikalischer Konstanten, und zwar des Parachors oder auch der Dichte erfolgt.

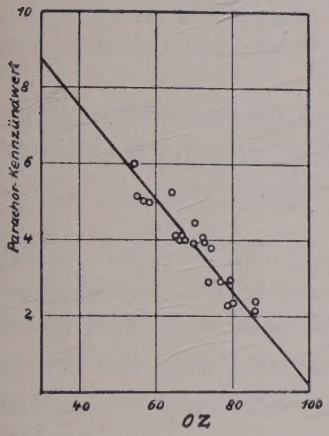

Abb. 10. Beziehung zwischen dem Parachor-Kennzündwert und der Oktanzahl von Benzinen.

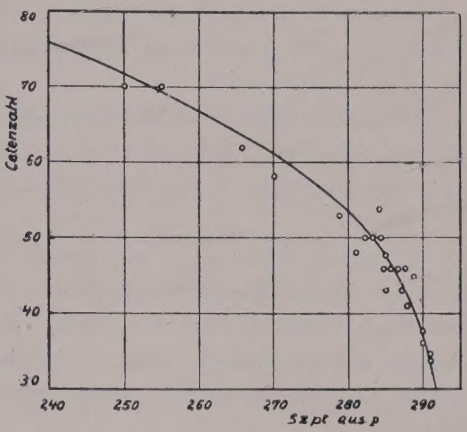

Abb. 11. Beziehungen zwischen den aus dem Parachor errechneten Selbstzündungspunkten und der Cetenzahl.

Zusammenfassung.

Die Bestimmung der Klopffestigkeit von Benzinen und der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen wird bisher fast ausschließlich auf dem Prüfstand vorgenommen.

Neuerdings sind mehrere Laboratoriumsverfahren entwickelt worden, die die Klopf- und Zündeigenschaften der Kraftstoffe ohne Verwendung eines Prüfmotors zu bestimmen gestatten.

In der vorliegenden Arbeit werden diese Methoden einer Prüfung unterzogen. Es wurde festgestellt, daß die von Zerbe und Eckert entwickelte Zündwert-Prüfmethode nur zu einer qualitativen Beurteilung der Klopffestigkeit von Benzinen herangezogen werden kann. Brauchbare Beziehungen zwischen der Cetenzahl von Dieselkraftstoffen und den im Zündwertsprüfer gemessenen Zündwerten wurden nicht aufgefunden.

Die von Heinze-Marder entwickelte Parachor-Arbeitsweise weist dagegen wesentlich bessere Übereinstimmung mit der Prüfstandsbewertung sowohl von Benzinen wie von Dieselkraftstoffen auf.

Weiterhin wurden Beziehungen zwischen den physikalischen Konstanten der Kraftstoffe und ihren Zündwerten aufgefunden, mit deren

Hilfe es gelingt, die Zündwerte mit einer größeren Genauigkeit zu ermitteln, als es die Zündwertprüfmethode vermag.

Die auf physikalischem Wege gemessenen Zündwerte stehen in etwa derselben Abhängigkeit zu den Oktan- und Cetenzahlen der Kraftstoffe wie die physikalischen Konstanten.

Daraus ist der Schluß zu ziehen, daß man zweckmäßig den Parachor und die Siedekennziffer zur Bestimmung der Oktan- und Cetenzahl von Kraftstoffen verwendet.

Die bisher verbreitete Meinung, daß zwischen den physikalischen Konstanten und den Zündeigenschaften von Kraftstoffen keine Beziehungen bestehen, kann damit als widerlegt betrachtet werden.

An dieser Stelle sei es mir gestattet, meinem sehr verehrten Lehrer, dem Leiter des Institutes für Braunkohlen- und Mineralölforschung an der Technischen Hochschule Berlin, Herrn Dr. phil. habil. R. Heinze, für die mir im Verlauf dieser Arbeit durch ihm zuteil gewordenen wertvollen Anregungen meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Schrifttum.

1. Jentzsch, Z. Ver. dtsch. Ing. **69** (1925) 1353. — Schäfer, Jahrb. d. Schiffbautechn. Ges. **1932**, 181. — Holde, Kohlenwasserstofföle und Fette, Aufl. 7, 69, Berlin 1930.

2. Zerbe und Eckert, Z. angew. Ch. **45** (1932) 593; **46** (1933) 659; Öl und Kohle **3** (1934) 112. — Eckert, Fettchemische Umschau **41** (1934) 21.

3. Heinze und Marder, Z. angew. Ch. **48** (1935) 335; Brennstoffchemie **16** (1935) 286; Öl und Kohle/Erdöl und Teer **11** (1935) 724.

4. Ubbelohde, Petr. **29**, Nr. 22; Beilage: Mitt. der intern. Petr. Kommission (1933).

5. Sugden, J. chem. Soc. London **125** (1924) 1177.

6. Marder, Öl u. Kohle/Erdöl u. Teer **11** (1935) Nr. 1–5.

7. Engler-Ubbelohde, Holde, Kohlenwasserstofföle u. Fette, Aufl. 7, 194, Berlin 1930.

8. Holde, Kohlenwasserstofföle u. Fette, Aufl. 7, 161, Berlin 1930.

Lebenslauf.

Ich, Karl Schilling, wurde am 10. Januar 1910 zu Suhl als Sohn des Werkmeisters Friedrich Schilling und seiner Ehefrau Alma geboren.

Von 1920–1929 besuchte ich die Oberrealschule in Suhl, um nach bestandener Reifeprüfung die Universität in Halle zu besuchen.

Nach bestandenem chemischen Verbandsexamen im August 1934 arbeitete ich in der Technischen Hochschule Berlin im Institut für Braunkohlen- und Mineralölforschung unter Leitung von Herrn Dr. habil. R. Heinze meine Dissertationsarbeit aus, die im Wintersemester 1936 abgeschlossen wurde.

Meine akademischen Lehrer, denen ich sehr zu Dank verbunden bin, waren:

Dolch, Heinze, Hoffmann, Klatt, Noack, Smekal, Tubandt, Vorländer, Weigelt, v. Wolff.